

В.П. Маршуба, канд. тех. наук,
И.Б. Плахотникова
Украинская инженерно-педагогическая академия,
г. Харьков

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ОТВЕРСТИЯ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ И УСЛОВИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ГЛУБОКОМ БЕЗВЫВОД- НОМ СВЕРЛЕНИИ АЛЮМИНИЕВ

The influence of aperture's drilling depth for one passing on cutting force and conditions of boring transportation is investigated at peck feed drilling of linear aluminum alloys on multihued machines. On the basis the obtained relationships for the changing of cutting force and conditions of boring transportation under given working environment, the ways removing negative consequences of process of peck feed drilling are developed. The usage of these relationships will allow determining the necessary conditions for processing of apertures with maximum productivity while processing of details from these alloys.

Введение. Ключевым моментом в машиностроении среди различных видов обработки поверхностей заготовок является механическая обработка материалов резанием, т.е. удаление поверхностного слоя материала в стружку путем воздействия режущего инструмента на материал детали под действием приложенных к нему внешних усилий (движение резания и подача) или сила резания. Кроме внешних усилий передаваемых режущему инструменту от оборудования, существуют другие факторы, которые также воздействуют на сверло, т.е. в отличие от внешних усилий, препятствуют его проникновению в материал заготовки. К этим факторам необходимо отнести следующие физические явления: упругое сопротивление обрабатываемого материала; адгезионная и механическая составляющая силы трения; тепловые явления в зонах резания и обработки; влияние внешних или вторичных факторов (в частности, глубина отверстия, недостаточное охлаждение зоны резания и обработки и др.).

Влияние глубины обрабатываемого отверстия на режущий инструмент, а, следовательно, на силу резания, определяется возрастающей, по мере заглубления сверла в канал отверстия, силой трения. Рост силы трения вызван с одной стороны, все более увеличивающимся физическим контактом поверхности сверла с обработанной поверхностью отверстия, с другой возрастающей - продолжительностью контакта транспортируемой стружки. Как следствие этого, увеличивающегося во времени контакта между режущим инструментом, деталью и стружкой, идет вторичное перераспределение тепловых потоков между ними, т.е. происходит разогрев зоны обработки за счет передачи части теплоты от стружки к сверлу и детали. Следовательно, стремительно вырастает адгезионное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материала. Кроме этого, за счет ухудшающихся условий подвода смазывающе-охлаждающей технологической среды в зону резания, по мере увеличения глубины канала отверстия, растёт температура на поверхности режущего инструмента и обрабатываемого отверстия, т.е. за счет этого происходит дополнительный разогрев этой зоны, что еще более увеличивает адгезионную составляющую силы трения

и ведет к образованию пакетов стружки в стружечных канавках сверл.

Совместный прирост действия внешних факторов, сопротивляющихся внедрению сверла в материал обрабатываемой заготовки, требует для их преодоления прироста прикладываемых к инструменту внешних усилий. Это противостояние зачастую приводит к внезапному отказу режущего инструмента (поломке), особенно для сверл диаметром менее 10...15 мм. Это вызвано особенностью конструкции и геометрии спирального сверла, его недостаточной жесткостью и прочностью.

Отсюда следует, что существует необходимость исследовать закономерности изменения силы резания в зависимости от глубины обрабатываемого отверстия, а также влияние на этот процесс условия транспортирования стружки из зоны резания. Это является одной из актуальнейших задач для повышения эффективности глубокого безвыводного сверления отверстий спиральными сверлами на агрегатных станках в различных материалах, в частности, литейных алюминиевых сплавов. Решение этой задачи позволит уменьшить затраты на проектирование и создание специальных методов и режущих инструментов, предназначенных для этих целей, снизить затраты на эксплуатацию стандартных спиральных сверл, позволит отказаться от дорогостоящего и энергоемкого оборудования.

Анализ последних исследований и публикаций. Авторами многих исследовательских работ по вопросу обработки глубоких отверстий отмечается, что глубина отверстия влияет на осевую составляющую силы и крутящий момент не напрямую, а через увеличивающуюся силу трения на ленточках и по стружечным канавкам сверл в процессе обработки отверстий. Это влияние выражается в увеличении силы трения на ленточках и ухудшением условий удаления стружки из зоны резания и зоны обработки по мере заглубления отверстия, так как стружка и ленточки в процессе обработки отверстий имеют все более увеличивающийся контакт с образующей поверхностью отверстия и поверхностью инструмента. Поэтому в начале процесса обработки отверстия осевая составляющая P_0 и крутящий момент $M_{кр}$ увеличиваются за счет сопротивления отделяемой части металла, переходящего в стружку. Затем прирост момента и силы происходит за счет постоянно увеличивающегося контакта стружки с передней поверхностью инструмента и поверхностью A_u отверстия, а также за счет сил трения ленточек инструмента о стенки отверстия. При достижении глубины отверстия более трех диаметров, из-за недостатка смазывающе-охлаждающей технологической среды, возрастает температура на поверхности инструмента в зоне резания и зоне обработки, и как следствие этого, увеличивается влияние адгезионного взаимодействия между обрабатываемым и инструментальным материалом, после чего начинает лавинообразно увеличиваться процесс наростообразования и пакетирования стружки в каналах инструмента, что в свою очередь ведет к значительному увеличению крутящего момента. Но влияние глубины отверстия на осевую составляющую силы и крутящий момент при сверлении отверстий в литейные алюминиевые сплавы авторами различных работ определяется неоднозначно (см. таб. 1), поэтому и существует очень большой разброс значений подач, скоростей резания и применяе-

мого для ее снижения поправочного коэффициента K_{Lv} .

Таблица 1

Влияние глубины сверления на осевую составляющую и крутящий момент, поправочный коэффициент K_{Lv} по данным различных источников.

	Глубина сверления, L/d				Источник
	4d	6d	8d	10d	
Осевая составляющая силы, Н; Крутящий момент, Нмм; Коэффициент K_{Lv} .	1600 8,9 1,0	1800 10,1 0,9	2000 11,2 0,8	2300 12,9 0,7	[3]
Осевая составляющая силы, Н; Крутящий момент, Нмм; Коэффициент K_{Lv} .	1200 6,7 0,85	1600 8,9 0,7	2000 11,2 0,6	2400 13,4 0,5	[4, 6, 7]

В работе Ю.В. Барановского [3] приводятся данные (см. табл. 1) о влиянии глубины отверстия на осевую составляющую P_O и крутящий момент $M_{кр}$, которые в значительной мере противоречат данным других работ [4, 5]. Столь значительный разброс значений осевой составляющей P_O и крутящего момента $M_{кр}$ связан со средними значениями полученных опытных данных и неизбежными погрешностями измерений, полученными в ходе опытов, а также с различными механическими свойствами, исследуемых литейные алюминиевые сплавы. Поэтому для получения необходимых значений P_O и $M_{кр}$ в зависимости от глубины отверстия при обработке отверстий в литейных алюминиях следует провести серию опытов с различными марками сплавов.

Цель исследований – установление закономерностей изменения силы резания при глубоком безвыводном сверлении литейных алюминиевых сплавов на агрегатных станках. На основе найденных закономерностей изменения силы резания уточнить поправочные коэффициенты и показатели степени к формулам по определению осевой составляющей силы резания и крутящего момента, разработать научно-обоснованные рекомендации по выбору режимов резания применительно к производству деталей из этих сплавов.

Изложение основного материала. Опыты по определению влияния глубины отверстия на осевую составляющую силы резания P_O и крутящий момент $M_{кр}$ проводились при постоянном диаметре инструмента ($D=11,2$ мм), скорости резания ($V=31,65$ м/мин) и подаче ($S=0,28$ мм/об.) на вертикально-сверлильном станке мод. 2С132 Стерлитамакского станкостроительного завода, так как производственные условия ОАО «ХТЗ» не позволили модернизировать агрегатный станок для этих целей, т.е. установить приборы для измерения силы резания и крутящего момента. Условия обработки отверстий на этих двух видах различного оборудования идентичны между собой, следовательно, можно предположить, что практически не отличаются друг от друга. Для более точного соответствия условий обработки на этом оборудовании, вертикально-сверлильный станок модернизировали путем добавления в кинематическую цепь привода главного движения дополнительной шестерни, что позволило существенно повысить его технические характеристики и разнообразить частоту вращения шпинделя и значения подачи, так как эти кинематические цепи в данном станке взаимосвязаны. Кроме этого применялись несколько вариантов электродвига-

телей с различной частотой вращения. Все результаты проверялись и сравнивались как для условий обработки на агрегатном станке, так и вертикально-сверлильном станке.

Для сравнения влияния глубины отверстия на силу резания и крутящий момент, а также проверки периода стойкости разных конструкций спиральных сверл, применяли как режущие инструменты, изготовленные на базе стандартных с различной заточкой вершины рабочей части, так и специальные конструкции сверл. Процесс обработки глубоких отверстий в образцах из алюминиевых сплавов производили последовательно стандартными сверлами, инструментом с разработанной автором заточкой стандартного сверла по патенту и специальными сверлами.

От специальных конструкций сверл для глубокого сверления пришлось сразу же отказаться, так как преимущества перед стандартными спиральными сверлами в условиях обработки отверстий глубиной до $15d$ не обнаружилось. Кроме этого этот вид режущего инструмента предполагает применение станций подвода смазывающе-охлаждающей технологической среды в зону резания по внутренним каналам в теле сверла под давлением, а это дополнительный расход электроэнергии и, следовательно, увеличение стоимости деталей.

На основе оставшихся конструкций сверл проведены сравнительные эксперименты. Из анализа полученных данных, стало ясно, что стандартные спиральные сверла с общепринятой заточкой вершины в полной мере не удовлетворяют определенным требованиям по повышению эффективности глубокого безвыводного сверления по следующим причинам:

- обработка глубоких отверстий этой конструкцией сверла возможна, только при многократном выводе из канала отверстия инструмента для охлаждения и удаления стружки, что потенциально не приемлемо для обработки на агрегатных станках многоинструментальными силовыми головками;
- в процессе резания стружка идет сплошной завивающейся лентой с переменным коэффициентом усадки по ее ширине, что вызывает, в конечном счете, образование пакетов стружки в стружечных канавках и внезапному преждевременному отказу инструмента.

Для выхода из создавшегося положения был предложен метод кинематического разделения и дробления потока сходящей по передней поверхности стружки, на две части на каждом пере сверла, с последующей их встречей и саморазрушением [8].

Результаты зависимости осевой составляющей P_O и крутящего момента $M_{кр}$ от глубины отверстия представлены на рис. 1 (а, б).

На рис. 1 (а, б) видно, что влияние глубины отверстия на осевую составляющую P_O и крутящий момент $M_{кр}$ при обработке различных марок литейных алюминия в избранном интервале растет прямо пропорционально. Осевая составляющая P_O и крутящий момент $M_{кр}$ в этом интервале растет от 0 до $11d$ в арифметической прогрессии, что подтверждается данными работ [1, 2], при этом происходит увеличение P_O и момента $M_{кр}$ в интервале от 0 до $5d$ наиболее интенсивно. Это связано с тем, что в начале обработки отверстия прирост значений P_O и $M_{кр}$ происходит по всем режущим кромкам. Затем он продолжает

увеличиваться за счет снижения поступления смазывающе-охлаждающей технологической среды в зону резания и увеличивающегося прироста силы трения по вспомогательным режущим кромкам (ленточкам) и стружки о поверхность $A\gamma$ стружечных канавок по мере увеличения глубины отверстия.

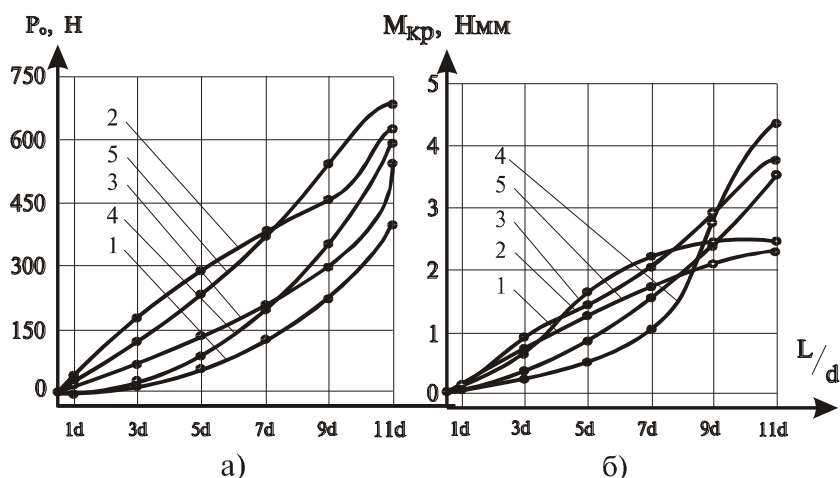


Рис. 1. Влияние глубины отверстия на осевую составляющую (а) и крутящий момент (б): 1) AK7; 2) AK7n; 3) AK7nc; 4) AK5M2; 5) AK7Ц9.

В конце интервала глубин отверстий от $5d$ до $11d$ процесс прироста значений P_o и M_{kp} идет менее интенсивно, только за счет сил трения стружки о поверхность $A\gamma$ стружечных канавок, вследствие отсутствия смазывающе-охлаждающей технологической среды в зоне резания и зоне обработки. Поэтому увеличивается разогрев зоны резания и зоны обработки, как следствие этого увеличивается действие сил адгезии.

Выводы.

Исходя из полученных результатов опытов и анализа по определению закономерности изменения осевой составляющей P_o и крутящего момента M_{kp} в зависимости от глубины сверления при глубоком безвыводном сверлении отверстий стандартными сверлами в литейных алюминиевых сплавах на агрегатных станках, приходим к выводу:

1) в зависимости от глубины сверления отверстий (более $4d$) необходимо назначать режимы резания отличные от режимов резания при обработке неглубоких отверстий ($L/d \leq 3d$). Это вызвано тем, что при сверлении глубоких отверстий происходит изменение условий обработки и транспортировки стружки из зоны резания и зоны обработки, подтверждаемое данными работ [2 - 5]. Это изменение произошло, потому что, в зависимости от глубины сверления изменяются условия теплопередачи в системе деталь-инструмент-стружка, что в свою очередь инициирует увеличение влияния сил адгезии, которое в конечном итоге приводит к пакетированию стружки в стружечных канавках;

2) следовательно, в зависимости от глубины отверстия к расчетным значениям подачи и скорости резания необходимо применять понижающие поправочные коэффициенты K_{Ls} и K_{Lv} (см. табл. 2);

Таблица 2

Поправочные коэффициенты K_{Ls} и K_{Lv} применяемые к расчетным значениям подачи и скорости резания в зависимости от глубины отверстия L/d .

	3d	5d	7d	9d	11d
Поправочный коэффициент K_{Ls}	1,00	0,95	0,80	0,75	0,70
Поправочный коэффициент K_{Lv}	1,00	0,85	0,75	0,65	0,55

3) для снижения влияния сил адгезии при глубоком сверлении и как следствие этого, уменьшения значений осевой составляющей P_o и крутящего момента $M_{кр}$ необходимо применять износостойкие твердые покрытия на режущей части инструмента, что позволит снизить силу резания и силу трения стружки;

4) необходимо также отметить, что осевую составляющую силы и крутящий момент при сверлении глубоких отверстий наибольшее внимание оказывает процесс транспортирования стружки из зоны резания и зоны обработки по мере увеличения глубины отверстия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резников Н.И. Учение о резании металлов. – М.: Машгиз, 1947. – 586 с.
2. Филоненко С.Н. Резание металлов. – К.: Техника, 1975. – 232 с.
3. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов: Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1972. – 408 с.
4. Сверла. / Еремеева Н.М. и др./ Под ред. М.Т. Галея. – М.: Машгиз, 1954. – 104 с.
5. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Для технологического нормирования на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1967.-№41-412 с.
6. Зорев Н.Н., Фетисова З.М. Обработка резанием тугоплавких сплавов. – М.: Машиностроение, 1966. – 274 с.
7. Полетика М.Ф. Исследование процесса резания титановых сплавов. В кн.: Обработываемость жаропрочных и титановых сплавов. – Куйбышев: 1962. – С. 28–35.
8. Дрожжин В.И., Маришуба В.П. Повышение эффективности глубокого сверления отверстий в алюминиях на агрегатных станках и автоматических линиях спиральными сверлами малого диаметра за счет совершенствования условий отвода стружки. // “Резание и инструмент в технологических системах”. – Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: ХГПУ, 1998. Вып. №52, – С. 81-87.

Поступила в редакцию 10.11.2004